

**System for spatially resolving measurement of flow speeds of continuous medium**

**Patent number:** DE19805328  
**Publication date:** 1999-08-26  
**Inventor:** -  
**Applicant:** THIERMANN (DE)  
**Classification:**  
- **International:** G01P5/00; G01S15/88  
- **European:** G01S15/58E, G01P5/00B2B  
**Application number:** DE19981005328 19980211  
**Priority number(s):** DE19981005328 19980211

**Abstract of DE19805328**

The system transmits successions of pulses, essentially consisting of two or more sequences of at least two successive pulses, with the radiation direction changing within each sequence from pulse to pulse. Pulses having equal or similar radiation directions inside a succession have different frequencies, and the back scatter signals towards the end of the succession transmission are received simultaneously.

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USP 10)**



⑮ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 05 328 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 01 P 5/00**  
G 01 S 15/88

⑳ Aktenzeichen: 198 05 328.2  
㉔ Anmeldetag: 11. 2. 98  
㉕ Offenlegungstag: 26. 8. 99

DE 198 05 328 A 1

㉑ Anmelder:  
Thiermann, Volker, Dipl.-Meteor. Dr., 72116  
Mössingen, DE

㉒ Erfinder:  
gleich Anmelder

㉖ Entgegenhaltungen:  
US 55 21 883 A  
= FR 27 09 556 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

㉗ System zur räumlich auflösenden Messung von Strömungsgeschwindigkeiten eines kontinuierlichen Mediums

DE 198 05 328 A 1

## Beschreibung

Das Verfahren zur räumlich auflösenden Fernmessung von Strömungsgeschwindigkeiten von kontinuierlichen Medien über die Aussendung von akustischen Pulsen und das Messen der Dopplerverschiebung der Frequenz der am Medium zurückreflektierten Wellen, wobei die Entfernung zum Meßort aus der Laufzeit zwischen Aussendung und Empfang bestimmt wird, ist hinlänglich bekannt und wird im atmosphärischen Anwendungsbereich mit Sodar (sonic detection and ranging) und im nautischen Anwendungsbereich mit Sonar (sonic navigation and ranging) bezeichnet.

Ein Sodar bzw. Sonar besteht aus einer akustischen Antenne für Sendung und Empfang (monostatisches System), einer Ansteuereinheit für die Antenne und einer Auswertereinheit für die zurückgestreuten Signale mit einer etwaigen nachfolgenden Datenaufzeichnung. In vielen Fällen ist die Antenne in Form eines Phasenarrays ausgelegt, d. h. sie besteht aus einer Matrix von Schallwandlern, deren phasenversetzte Ansteuerung sendeseits und phasenbezogene Signalauswertung empfangsseits die Richtungscharakteristik der Antenne bestimmt.

Die Leistungsfähigkeit eines Sodars bzw. Sonars wird unter anderem beschrieben durch die maximale Reichweite bei gegebener räumlicher Auflösung und hängt vom erreichbaren Signalzu-Rausch-Verhältnis ab. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis wird im allgemeinen verbessert durch eine Erhöhung der abgestrahlten akustischen Energie je Sendephase. Dabei darf die akustische Pulslänge nicht verändert werden, da diese die räumliche Auflösung bestimmt. Das Signal-zu-Rausch-Verhältnis hängt auch vom Hintergrundsignal ab. Für das Hintergrundsignal bilden neben dem Systemrauschen und Umweltgeräuschen sogenannte Nebenkeulen, d. h. eine akustische Abstrahlung und Wahrnehmung außerhalb der Hauptabstrahl- bzw. Hauptempfangsrichtung, eine wichtige Ursache.

Zu Beginn der Entwicklung wurden Sodar- bzw. Sonarsysteme in der Weise betrieben, daß ein akustischer Puls einer bestimmten Dauer und Frequenz in eine bestimmte Richtung ausgesandt und anschließend die Frequenz der rückgestreuten Welle über einen (von der Reichweite abhängigen) Zeitraum aufgenommen und ausgewertet wurde. Dieser Vorgang erfolgte üblicherweise in drei Richtungen nacheinander, um den dreidimensionalen Strömungsvektor zu ermitteln.

Eine Verbesserung des Signal-zu-Rausch-Verhältnisses wurde dadurch erzielt, daß in jede Richtung nicht nur ein Puls sondern eine Folge von Pulsen unterschiedlicher Frequenz ausgesandt wurde. Für jede Empfangsrichtung wurden die rückgestreuten Signale aller Frequenzen dann gleichzeitig aufgenommen. Auf diese Weise konnte während der Sendephase mehr akustische Energie in das zu messende Medium eingebracht werden bei gleichbleibender Pulslänge, d. h. ohne die räumliche Auflösung zu vermindern.

Bei einer Fortentwicklung dieser Methode (FR 9310348) wurden aus Pulsen verschiedener Frequenz zusammengesetzte Folgen unmittelbar nacheinander in verschiedene Richtungen ausgesandt und die Rückstreusignale dann aus allen Richtungen gleichzeitig in einer gemeinsamen Empfangsphase aufgenommen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die Systemleistung weiter zu optimieren und die technische Umsetzung zu vereinfachen.

Zu diesem Zweck muß zunächst ein Nachteil des zuletzt beschriebenen Verfahrens erkannt werden. Dieser liegt darin, daß wegen der regelmäßigen Ausnutzung der zur Verfügung stehenden spektralen Bandbreite, d. h. in der Praxis gewöhnlich der Zahl der zur Verfügung stehenden Frequenzen, gleiche (oder ähnliche) Frequenzen in unterschiedliche Richtungen mit großem zeitlichen Abstand ausgesandt werden und so gleichzeitig aus verschiedenen Richtungen aufgenommene Rückstreusignale einer Frequenz von nahen und entfernten Rückstreuvorgängen herrühren. Da die Intensität des Rückstreusignals im allgemeinen stark mit der Entfernung des Rückstreuortes sinkt und die Richtungscharakteristik einer realen akustischen Antenne keine völlige Richtungsseparation erlaubt, kann bei einer solchen Betriebsweise ein starkes, nahes Rückstreusignal auf ein schwaches, entferntes Rückstreusignal übersprechen, was zu Meßfehlern führt. Dieser Nachteil kann auch durch ein zur Messung des dreidimensionalen Strömungsvektors nahe an der Antenne notwendiges Vertauschen der Reihenfolge der Abstrahlrichtungen oder eine Variation der Reihenfolge der Frequenzen nur zum Teil gemildert werden.

Das Problem wird dadurch gelöst, daß nicht Folgen, die aus Pulsen unterschiedlicher Frequenz zusammengesetzt sind, nacheinander in mehrere Richtungen ausgesandt werden, sondern daß nacheinander eine Reihe von Sequenzen ausgesandt wird, die jeweils aus zwei oder mehr Pulsen mit unterschiedlicher Abstrahlrichtung und üblicherweise der gleichen Frequenz bestehen, wobei Pulse aus verschiedenen Sequenzen generell eine hinreichend unterschiedliche Frequenz haben sollten. Unter diesen Voraussetzungen werden gleiche Frequenzen aus verschiedenen Richtungen bei ähnlichen Laufzeiten zeitnah empfangen, und das Übersprechen bleibt minimal.

Stellt die spektrale Bandbreite des Systems mehr Frequenzen zur Verfügung, als innerhalb einer Pulsabfolge, d. h. einer Reihe von Sequenzen, sinnvoll genutzt werden können, so kann es vorteilhaft sein, Pulse verschiedener Frequenz oder Richtung, auch in Kombination, gleichzeitig zu emittieren. Dies ist insbesondere bei Antennensystemen der Fall, deren maximal emittierbare, über alle Frequenzen und Richtungen summierte akustische Leistung sich dadurch erhöht.

Wird eine akustische Antenne in Form eines Phasenarrays verwendet, so ist es, bedingt durch die Spalten- und Zeilenstruktur der Anordnung der Schallwandler und der entsprechenden Auslegung der Ansteuer- und Auswerteelektronik, im allgemeinen eine technische Vereinfachung, wenn Sendung und Empfang nur aus solchen Richtungen gleichzeitig realisiert werden müssen, die mit der Hauptabstrahlrichtung (Vorwärtsrichtung) in einer Ebene liegen. Dies kann in der Weise berücksichtigt werden, daß verschiedene Arten von Pulsabfolgen nacheinander ausgesandt werden, innerhalb derer die Abstrahlrichtungen jeweils der genannten Bedingung genügen und die jeweils durch eine Empfangsphase abgeschlossen sind. Die Bestimmung des dreidimensionalen Windvektors erfolgt dann nach Auswertung der Empfangssignale aller (gewöhnlich mindestens drei) Pulsabfolgearten.

Bei einem Phasenarray kann die Ausprägung von Nebenkeulen vermindert werden, indem die einzelnen Amplituden der von den Schallwandlern ausgehenden akustischen Wellen in Abhängigkeit der Frequenz und der Abstrahlrichtung, insbesondere durch Verwendung eines jedem Schallwandler zugeordneten, sich dynamisch je nach Frequenz und Abstrahlrichtung regelbaren Abschwächers oder Verstärkers, so angepaßt werden, daß durch Interferenz die Hauptabstrahlrichtung gegenüber den Nebenkeulen begünstigt wird. Empfangsseitig läßt sich durch Regelung der von den einzelnen Schallwandlern aufgenommenen Signale ebenfalls eine entsprechende Richtungscharakteristik erreichen.

Da sich das Signal-zu-Rausch-Verhältnis mit größerer Entfernung des Rückstreuortes verschlechtert, kann es geboten sein, die räumliche Auflösung mit zunehmender Distanz zu verringern. Da die ersten ausgesandten Pulse innerhalb einer Abfolge nur zu Messungen in größeren Distanzen verwendet werden können und bei dort angestrebter niedriger räumlicher Auflösung die zur Verfügung stehende Bandbreite des Systems nicht unnötig ausgeschöpft werden sollte, ist es oft sinnvoll, die Länge der ersten ausgesandten Pulse groß zu wählen und die der nachfolgenden Pulse Schritt für Schritt zu verkleinern. Die Realisierung auf der Basis eines konstanten Zeitrasters erleichtert die Auswertung und ergibt eine Schichtenstruktur für die Zuordnung der Meßergebnisse. Eine mittlere Zusammenfassung von benachbarten Schichten, idealerweise entsprechend der Länge der die jeweiligen Schichten durchlaufen habenden Pulse, entspricht dann konsequent der Verringerung der Auflösung mit der Distanz. 5

Da in der Atmosphäre die Reichweite akustischer Wellen (im üblicherweise verwendeten hörbaren Bereich) mit höherer Frequenz abnimmt, ist es hier günstig, zunächst Pulse niedriger Frequenz auszusenden und von Pulsen höherer Frequenz folgen zu lassen. Dies ist auch deswegen vorteilhaft, weil die höheren Frequenzen im allgemeinen bessere räumliche Auflösungen zulassen und diese vor allem bei geringen Entfernungen angestrebt werden. 10

Als Ausführungsbeispiel wird im folgenden die Betriebsweise eines Sodars mit 5 Abstrahlrichtungen beschrieben. Die Richtungen haben die Bezeichnungen R1 bis R5, wobei R1 nach Osten, R2 nach Norden, R3 nach Westen und R4 nach Süden geneigte Winkel und R5 die Vertikale bedeuten (Fig. 1). Die Absolutneigungen der Richtungen R1, R2, R3, R4 gegenüber der Vertikalen R5 sind gleich. 15

Das Sodar kann 6 Frequenzen F1 bis F6 aussenden, wobei F1 die niedrigste und F6 die höchste Frequenz ist. Das Aus-senden der Pulse und der Empfang der Rückstreusignale sind organisiert über ein Zeitraster mit adäquaten Rasterperioden T1, T2, T3 usw., wie unten unter Bezugnahme auf Tabelle 1 erläutert. Die Zuordnung erfolgt auf 28 Schichten E1 bis E28, die schließlich auf 11 Schichten M1 bis M11 mitteln-d zusammengefaßt werden, um eine höhenabhängige Auflösung zu erhalten. 20

Es werden 3 Arten von Pulsabfolgen nacheinander ausgesandt und jeweils mit einer Empfangsphase abgeschlossen. Jede Pulsabfolge besteht aus 3 Sequenzen mit jeweils 2 Pulsen. 25

Über den Zeitraum der Perioden T1 bis T8 erstreckt sich die erste Sequenz der ersten Abfolge (siehe Tabelle 1, Zeile S). Zuerst wird in Richtung R1 ein Puls mit der Frequenz F1 (R1F1) und einer Länge von 4 Perioden und dann in Richtung R3 ein Puls der gleichen Frequenz und Länge (R3F1) ausgesandt. 30

Es folgt über den Zeitraum T9 bis T12 eine Sequenz bestehend aus 2 Pulsen der Frequenz F3 und jeweils einer Länge von 2 Perioden, und zwar wieder einem Puls in Richtung R1 (R1F3) und einem Puls in Richtung R3 (R3F3). Während T13 und T14 folgt schließlich eine Sequenz aus 2 kurzen Pulsen der Frequenz F5 in die Richtungen R1 (R1F5) und R3 (R3F5). 35

Nun beginnt die der ersten Pulsabfolge zugeordnete Empfangsphase. Tabelle 1 macht deutlich, wie die Zuordnung der ausgewerteten Rückstreusignale zunächst auf die Schichten E1-E28 und dann auf die gemittelten Schichten M1-M11 organisiert ist. Die erste Empfangsphase endet mit Periode T42. 40

Mit Periode T43 beginnend wird eine Pulsabfolge ausgesandt, bei der gegenüber der vorangegangenen die Richtungen R1 und R3 in R2 und R4 geändert sind. Die entsprechende Empfangsphase endet mit Periode T84. 35

In der letzten Pulsabfolge, beginnend mit Periode T85, wird nur in Richtung R5 emittiert. Wegen der erwarteten niedrigeren Windgeschwindigkeiten der vertikalen Komponente und der entsprechenden geringeren Dopplerverschiebungen, werden statt 3 nun 6 Frequenzen verwendet. Die Länge der Perioden ist nun kürzer als zuvor, da nach horizontalen Schichten aufgelöst wird und der geometrische Effekt des fehlenden Neigungswinkels bei der Laufzeit kompensiert werden muß. Die Empfangsphase für die Vertikale endet mit Periode T126. 40

Die 3 verschiedenen Pulsabfolgen bilden einen Zyklus, der wiederholt ausgesandt wird. Die Meßwerte der jeweils gleichen Pulsabfolgeart, vorzugsweise die Spektren, werden über mehrere Zyklen gemittelt bis ein hinreichendes-Signal-zu-Rausch-Verhältnis erreicht ist. Die dreidimensionalen Windvektoren ergeben sich aus der Auswertung der Spektren aller 3 Pulsabfolgearten. 45

Fig. 2 erläutert das Zusammenfügen der dopplerverschobenen Spektren. Das Beispiel bezieht sich auf die Signale der Empfangsperioden T15 bis T20, die der Schicht E6 zugeordnet werden (siehe Tabelle 1). 50

Während der Empfangsperioden T15 bis T20 werden Rückstreusignale der Frequenzen F1, F3 und F5 aus den Richtungen R1 und R3 gemessen. Typische Spektren für die Richtungen R1 und R3 zeigt Fig. 2(a). Da die Frequenz F1 nach Ende der Aussendung der Pulsabfolge die Schicht E6 bereits vollständig durchquert hat, wird der entsprechende Frequenzbereich hier nicht weiter verwertet. Die Maxima (1) und (3) resultieren aus der Richtung R1, die Maxima (2) und (4) aus der Richtung R3. Die Maxima (1) und (2) ergeben sich aus der Dopplerverschiebung der Frequenz F3, die Maxima (3) und (4) ergeben sich aus der Dopplerverschiebung der Frequenz F5. Wegen der entgegengesetzten horizontalen Komponente der Abstrahlrichtungen R1 und R3 haben die Dopplerverschiebungen jeweils entgegengesetzte Vorzeichen. 55

Aus dem gemessenen Spektrum der Richtung R1 von Periode T15 und wird nun der Bereich um die dopplerverschobene Frequenz F3 mit F3 normiert und der Vorzeichenkonvention entsprechend um 1 gespiegelt (von 1 subtrahiert). Das Maximum (1) wird so zum Maximum (5) im normierten Koordinatensystem in Fig. 2(b). Mit der Periode T16 wird ebenso verfahren. 60

Für die Perioden T17 und T18 werden die gemessenen Spektren der Richtung R3 im Bereich um die dopplerverschobene Frequenz F3 mit F3 normiert. Die Maxima (2) werden so im normierten Koordinatensystem zu den Maxima (6). Für die Perioden T19 und T20 wird die Frequenz F5 entsprechend behandelt, es ergeben sich die Maxima (7) und (8). 65

Über alle normierten Spektren wird schließlich gemittelt, ein statistisch repräsentativer Durchschnittswert (9) wird bestimmt, und daraus wird die Windgeschwindigkeit der betrachteten räumlichen Komponente bestimmt.

		<u>T1</u>	<u>T2</u>	<u>T3</u>	<u>T4</u>	<u>T5</u>	<u>T6</u>	<u>T7</u>	<u>T8</u>	<u>T9</u>	<u>T10</u>	<u>T11</u>	<u>T12</u>	<u>T13</u>	<u>T14</u>	<u>T15</u>	<u>T16</u>	<u>T17</u>	<u>T18</u>
	S	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-
M1	[E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F5	-	-	-
M2	[E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F5	R3F5	-	-
M3	[E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F3	R1F5	R3F5	-
M4	[E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5
M5	[E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5
M6	[E6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F3	R1F3	R3F3	R3F3
M7	[E7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3
	[E8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3
	[E9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3
	[E10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R3F1	R3F1	R3F1	R3F1
	[E11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1
M8	[E12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1
	[E13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1
	[E14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1
	[E15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1
	[E16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1
M9	[E17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1
	[E18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1
	[E19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	[E21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M11	[E25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 1

	<u>T19</u>	<u>T20</u>	<u>T21</u>	<u>T22</u>	<u>T23</u>	<u>T24</u>	<u>T25</u>	<u>T26</u>	<u>T27</u>	<u>T28</u>	<u>T29</u>	<u>T30</u>	<u>T31</u>	<u>T32</u>	<u>T33</u>	<u>T34</u>	<u>T35</u>	<u>T36</u>
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M1	[E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	[E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	[E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M4	[E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5	[E5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E6	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	[E7	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E8	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M7	[E9	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E10	R1F3	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E11	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E12	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R1F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M8	[E13	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E14	R3F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E15	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-	-
	[E16	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-	-
M9	[E17	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-	-
	[E18	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-	-
	[E19	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-	-
M10	[E20	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-
	[E21	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-
	[E22	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5	-	-
	[E23	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5
	[E24	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5
M11	[E25	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5
	[E26	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5	R3F5
	[E27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3	R1F5
	[E28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R1F1	R1F1	R3F1	R3F1	R1F3	R1F3	R3F3

[illegible]

	T55	T56	T57	T58	T59	T60	T61	T62	T63	T64	T65	T66	T67	T68	T69	T70	T71	T72
S	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M1	[E1	-	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	[E2	-	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	[E3	-	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M4	[E4	-	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5	[E5	-	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	[E6	-	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M7	[E7	-	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E8	-	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E9	-	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E10	-	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-
	[E11	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R4F3	R4F3	R4F3	R2F5	-	-	-	-	-	-
	[E12	-	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-
M8	[E13	-	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-
	[E14	-	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-
	[E15	-	-	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F3	R4F3	R2F5
	[E16	-	-	-	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
M9	[E17	-	-	-	-	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E18	-	-	-	-	-	-	R2F1	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E19	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E20	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
M10	[E21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R4F5
M11	[E25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F1	R4F5
	[E27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F1	R4F5
	[E28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R2F1	R4F5

5  
10  
15  
20  
25  
30  
35  
40  
45  
50  
55  
60  
65

	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5						
	<u>T73</u>	<u>T74</u>	<u>T75</u>	<u>T76</u>	<u>T77</u>	<u>T78</u>	<u>T79</u>	<u>T80</u>	<u>T81</u>	<u>T82</u>	<u>T83</u>	<u>T84</u>	<u>T85</u>	<u>T86</u>	<u>T87</u>	<u>T88</u>	<u>T89</u>	<u>T90</u>
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F1	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2
M1	[E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	[E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	[E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M4	[E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M5	[E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	[E6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M7	[E7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M8	[E13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M9	[E17	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E18	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E19	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E20	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	[E21	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E22	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E23	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E24	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M11	[E25	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E26	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E27	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-	-
	[E28	R2F1	R2F1	R4F1	R4F1	R4F1	R2F3	R2F3	R4F3	R4F3	R2F5	R4F5	-	-	-	-	-	-

	<u>T91</u>	<u>T92</u>	<u>T93</u>	<u>T94</u>	<u>T95</u>	<u>T96</u>	<u>T97</u>	<u>T98</u>	<u>T99</u>	<u>T100</u>	<u>T101</u>	<u>T102</u>	<u>T103</u>	<u>T104</u>	<u>T105</u>	<u>T106</u>	<u>T107</u>	<u>T108</u>
S	R5F2	R5F2	R5F3	R5F3	R5F4	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M1	[E1	-	-	-	-	-	-	-	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M2	[E2	-	-	-	-	-	-	-	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-
M3	[E3	-	-	-	-	-	-	-	R5F4	R5F5	-	-	-	-	-	-	-	-
M4	[E4	-	-	-	-	-	-	-	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-
M5	[E5	-	-	-	-	-	-	-	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-
M6	[E6	-	-	-	-	-	-	-	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-
M7	[E7	-	-	-	-	-	-	-	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-
	[E8	-	-	-	-	-	-	-	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-
	[E9	-	-	-	-	-	-	-	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-
	[E10	-	-	-	-	-	-	-	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-
	[E11	-	-	-	-	-	-	-	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-
	[E12	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-
M8	[E13	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-
	[E14	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-
	[E15	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-
	[E16	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-
	[E17	-	-	-	-	-	-	-	R5F1	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-
M9	[E18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	[E22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M11	[E25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

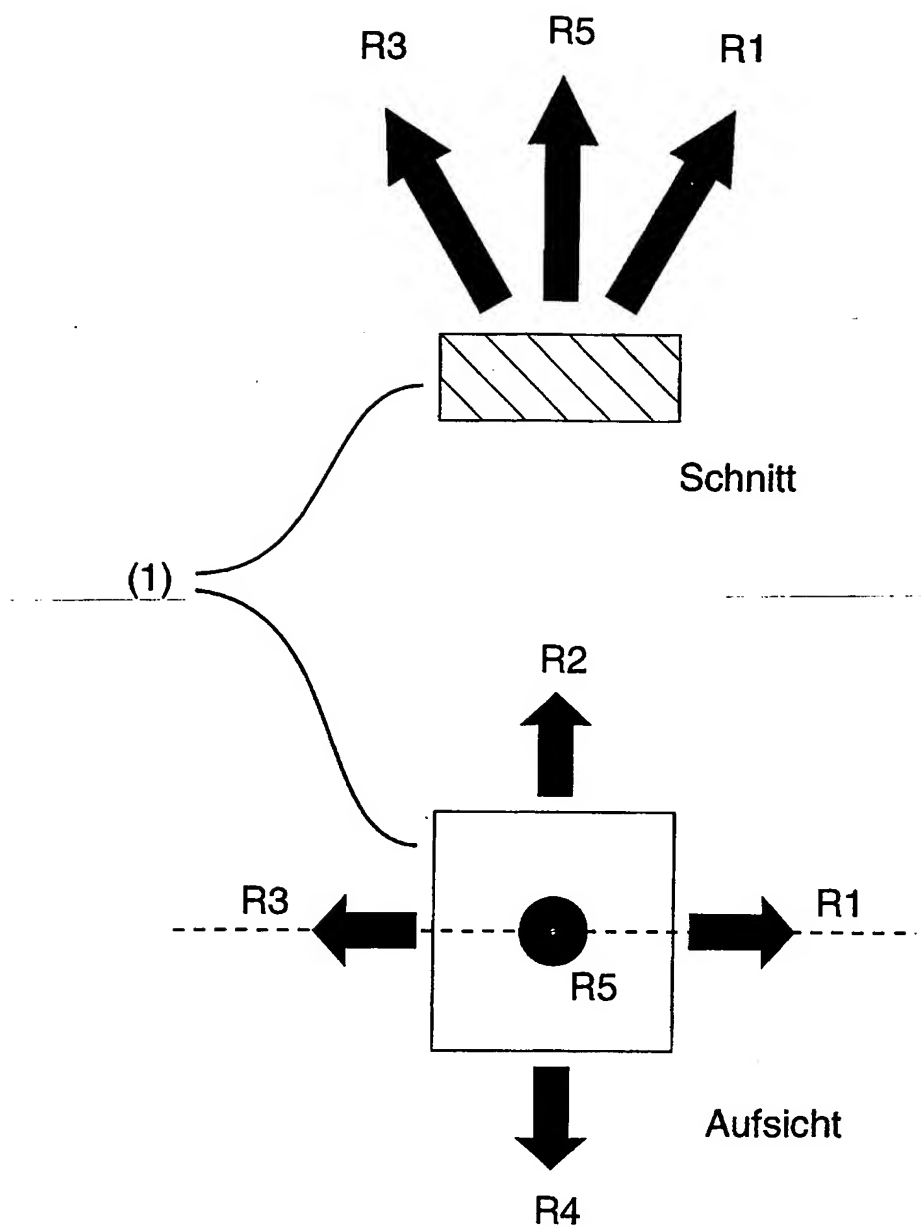
65

	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	5						
	<u>T109</u>	<u>T110</u>	<u>T111</u>	<u>T112</u>	<u>T113</u>	<u>T114</u>	<u>T115</u>	<u>T116</u>	<u>T117</u>	<u>T118</u>	<u>T119</u>	<u>T120</u>	<u>T121</u>	<u>T122</u>	<u>T123</u>	<u>T124</u>	<u>T125</u>	<u>T126</u>
S	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M1	[E1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M4	[E4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M6	[E7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M7	[E10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E11	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E12	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M8	[E13	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E14	R5F4	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E15	R5F3	R5F4	R5F4	R5F5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M9	[E16	R5F3	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E17	R5F2	R5F3	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E18	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M10	[E19	R5F2	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E20	R5F2	R5F2	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E21	R5F1	R5F2	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
M11	[E22	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E23	R5F1	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-	-
	[E24	R5F1	R5F1	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-
M11	[E25	-	R5F1	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-
	[E26	-	-	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-	-
	[E27	-	-	-	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-
	[E28	-	-	-	R5F1	R5F1	R5F2	R5F2	R5F3	R5F4	R5F5	R5F6	-	-	-	-	-	-

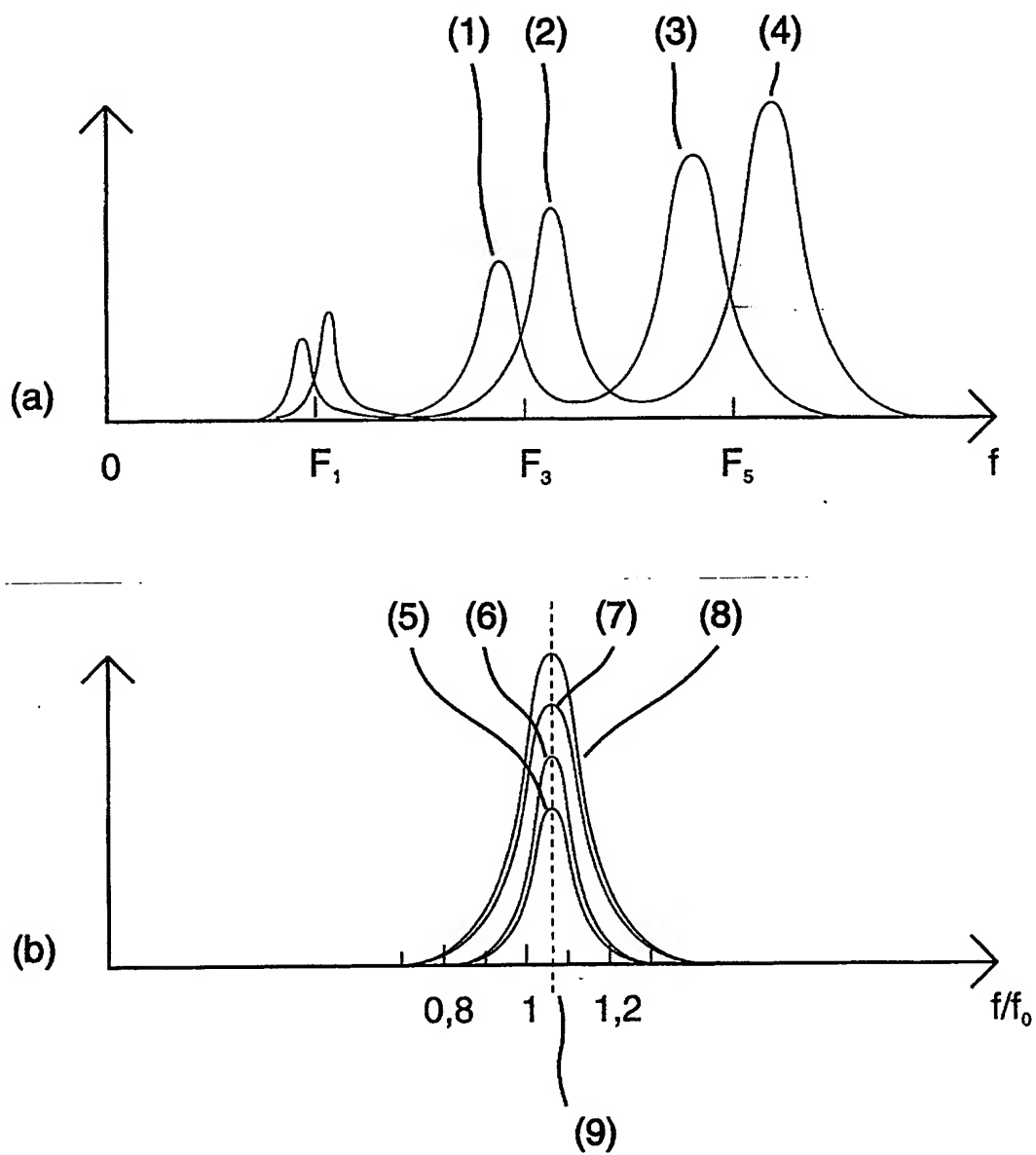
1. System zur räumlich auflösenden Messung von Strömungsgeschwindigkeiten eines kontinuierlichen Mediums und bestehend aus einer akustischen Sende- und Empfangsantenne mit Ansteuer- und Auswerteeinheit, welches im Betrieb in mehrere Richtungen akustische Pulse aussendet, die am Medium rückgestreuten und aus den verschiedenen Richtungen einlaufenden akustischen Wellen gleichzeitig empfängt, aus den Laufzeiten der Pulse zwischen Aussendung und Empfang die Distanzen zu den Rückstreuroten und aus den Dopplerverschiebungen der empfangenen Frequenzen die Strömungsgeschwindigkeiten bestimmt, **dadurch gekennzeichnet**, daß Abfolgen von Pulsen im wesentlichen bestehend aus zwei oder mehr Sequenzen jeweils bestehend aus mindestens zwei aufeinanderfolgenden Pulsen mit innerhalb jeder Sequenz von Puls zu Puls wechselnder Abstrahlrichtung ausgesandt werden, soweit innerhalb einer Abfolge Pulse gleiche oder ähnliche Abstrahlrichtungen haben, die Frequenzen mindestens solcher Pulse verschieden sind und die Rückstreusignale nach Ende der Aussendung der Abfolge gleichzeitig empfangen werden. 5
2. System nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle oder einzelne Pulse einer Sequenz nicht nacheinander sondern gleichzeitig ausgesandt werden. 10
3. System nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens einer der ausgesandten Pulse gleichzeitig zwei oder mehr Frequenzen enthält. 15
4. System nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Antenne in Form eines Phasenarrays ausgeführt ist, insbesondere eine Matrix von Schallwandlern enthält, deren phasenversetzte Ansteuerung sendeseits und phasenbezogene Signalauswertung empfangsseits die Richtungscharakteristik der Antenne bestimmt. 20
5. System nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß verschiedene Arten von Pulsabfolgen im Wechsel ausgesandt und jeweils durch eine nachfolgende Empfangsphase abgeschlossen werden, insbesondere in der Weise, daß innerhalb einer Abfolge die Richtungen aller ausgesandten Pulse mit der senkrecht zur Antenne liegenden Richtung, d. h. der sich bei Ansteuerung ohne Phasenversatz ergebenden Vorwärtsrichtung, in einer Ebene liegen, und die empfangenen Signale der den verschiedenen Abfolgen zugeordneten, nachfolgenden Empfangsphasen, gegebenenfalls nach Mittelung über mehrere gleichartigen Abfolgen zugeordnete Empfangsphasen, im Zusammenhang, insbesondere zur Ableitung des Strömungsvektors, ausgewertet werden. 25
6. System nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit Frequenzspektren der Rückstreusignale für jede der Empfangsrichtungen berechnet, in Bereiche um die ausgesandten Frequenzen unterteilt, diese Bereiche in Bezug auf den Einfluß von Richtung und Frequenz normiert, unter Berücksichtigung der Laufzeit einer Distanz zugeordnet, gemittelt und dann weiter ausgewertet werden. 30
7. System nach den Ansprüchen 4, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, daß die Amplitude der von jedem Schallwandler ausgehenden akustischen Welle in Abhängigkeit von der Frequenz und dem Abstrahlwinkel der Pulse durch das System so variiert wird, daß durch Interferenz bzw. Überlagerung eine gewünschte Abstrahlcharakteristik, insbesondere in Bezug auf eine Verminderung der nicht in der Hauptabstrahlrichtung liegenden Nebenkeulen, erreicht wird. 35
8. System zur räumlich auflösenden Messung von Strömungsgeschwindigkeiten eines kontinuierlichen Mediums und bestehend aus einer akustischen Sende- und Empfangsantenne mit Ansteuer- und Auswerteeinheit, welches im Betrieb eine Abfolge akustischer Pulse aussendet, die am Medium rückgestreuten akustischen Wellen empfängt, aus den Laufzeiten der Pulse zwischen Aussendung und Empfang die Distanzen zu den Rückstreuroten und aus den Dopplerverschiebungen der empfangenen Frequenzen die Strömungsgeschwindigkeiten bestimmt, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Sende- und die Empfangsphase zum Zwecke der Auswertung in einem äquidistanten Zeitraster strukturiert sind, nacheinander Pulse verschiedener Frequenz oder Richtung oder Frequenz und Richtung, auch in Kombination gleichzeitig überlagert, mit Längen, die im wesentlichen ein ganzzahliges Vielfaches des Zeitrastermaßes sind, ausgesandt werden, die Längen der Pulse innerhalb einer Abfolge ein- oder mehrmals abnehmen, nach Ende der Aussendung der Abfolge die Rückstreusignale gleichzeitig empfangen, über das Zeitraster untereinander in Beziehung gesetzt, im Zusammenhang ausgewertet und Distanzschichten zugeordnet werden. 40
9. System nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Mittelung der räumlichen Zuordnung der Meßergebnisse über zwei oder mehr benachbarte Distanzschichten erfolgt, insbesondere daß dadurch eine distanzabhängige räumliche Auflösung entsteht. 45
10. System nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß insbesondere bei Anwendung in Medien, die durch eine zunehmende Absorption akustischer Wellen mit zunehmender Frequenz charakterisiert sind, zunächst Pulse mit niedrigen und dann Pulse mit höheren Frequenzen ausgesandt werden. 50

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



Figur 1



Figur 2